

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EFICIENTE A
PARTIR DE PROPULSIÓN HUMANA CON BASE EN UNA BICICLETA
ESTÁTICA**

**Robinson López Velásquez
Código: 1.088.300.906**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA
PEREIRA
2015**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EFICIENTE A
PARTIR DE PROPULSIÓN HUMANA CON BASE EN UNA BICICLETA
ESTÁTICA**

**Robinson López Velásquez
Código: 1.088.300.906**

**Trabajo de grado para optar el título de:
Tecnólogo mecánico**

**Ph ing. Edgar Alonso Salazar Marín
Director**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA
PEREIRA
2015**

Pereira, Mayo 2015

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Pereira, Mayo 2015

DEDICATORIA

A mi tío Héctor Velásquez, a mi hermano, a mi abuela Margarita, a mi madre y todas las personas que de una u otra forma confiaron en mis capacidades apoyándome económica y emocionalmente haciendo posible que superara este reto en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por entregarme la oportunidad de vivir como una persona con todas mis capacidades físicas y mentales completas; a toda mi familia por estar siempre atentos en mi avance en todos los ámbitos de mi vida, a mi director ing. Edgar Salazar por estar presto a ayudar de manera íntegra en todas las etapas del proyecto y sin ser menos importantes a todos mis compañeros de carrera los cuales me brindaron su apoyo en el desarrollo de este proyecto de grado. A todos sin excepción mil Gracias.

CONTENIDO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

1. ENERGÍAS RENOVABLES.....	12
1.1. Energía minihidraulica.....	12
1.2. Energía eólica.....	12
1.3. La biomasa.....	13
1.4. Energía solar.....	13
1.5. Energía geotérmica.....	14
1.6. Energía mareomotriz.....	14
1.7. Energía de propulsión humana.....	15
1.8. Definiciones relacionadas con la energía y la potencia.....	16
2. EL CUERPO HUMANO COMO TRANSFORMADOR DE ENERGÍA.....	19
2.1. Comportamiento del cuerpo humano en presencia de actividad física..	19
2.2. Producción de energía en el cuerpo humano.....	19
3. GENERALIDADES DE LA TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA A ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE LA BICICLETA ESTÁTICA.....	21
3.1. Definiciones y funciones de los elementos que componen el sistema.	23
3.1.1. Componentes mecánicos.....	23
3.1.2. Componentes eléctricos	25
4. IMPLEMENTACIÓN DE LA BICICLETA GENERADORA DE ELECTRICIDAD.....	27
4.1. Sistema de transmisión.....	28
4.2. Alternador-regulador.....	30
4.3. Batería.....	34
4.4. Conexión de los componentes del sistema.....	35
4.5. Comportamiento del sistema.....	35
4.5.1. Medición de variables.....	35
4.5.2. Recolección de datos.....	38
4.5.3. Análisis de los datos obtenidos.....	44
5. CONSIDERACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACION EN EL GIMANSIO UTP.....	47
CONCLUSIONES.....	51

BIBLIOGRAFÍA.....	52
Anexo A Determinación de la fuerza ejercida en los pedales	54
Anexo B Data sheck correspondiente al sensor de corriente ACS715.....	55

CONTENIDO DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Aprovechamiento de la energía cinética de las olas.....	15
Figura 2. Central energética a propulsión humana a base de pedaleo comunitario.....	16
Figura 3. Prueba de eficiencia energética en una bicicleta ergométrica.....	20
Figura 4. Forma de pedalear en una bicicleta.....	21
Figura 5. Partes de un alternador.....	25
Figura 6. Bicicleta estática sin modificaciones.....	27
Figura 7. Transmisión de potencia.....	28
Figura 8. Vista superior de la transmisión por fricción.....	29
Figura 9. Vista lateral izquierda de la transmisión por fricción.....	30
Figura 10. Esquema de conexión del sistema de generación.....	31
Figura 11. Conexiones de salida de corriente generada.....	32
Figura 12. Regulador externo de tensión.....	33
Figura 13. Batería.....	34
Figura 14. Vista lateral derecha de la bicicleta generadora de electricidad...	35
Figura 15. Movimiento de rotación.....	36
Figura 16. Elementos visuales de medición de corriente y velocidad.....	37
Figura 17. Vista superior bicicleta generadora de electricidad.....	38
Figura 18. Comportamiento de la corriente según LabVIEW.....	39
Figura 19. Determinación de la energía generada en Wh.....	45
Figura 20. Cable adaptador.....	47
Figura 21. Medición de corriente de consumo.....	48

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Datos recolectados durante la prueba.....	40
Tabla 2. Valores de tensión recolectados durante 5 minutos.....	40
Tabla 3. Valores de corriente recolectados durante 5 minutos.....	41
Tabla 4. Valores de revoluciones y tensión obtenidos al pedalear durante 5 minutos.....	42
Tabla 5. Valores de potencia recolectados al pedalear durante 5 minutos...	43
Tabla 6. Valores obtenidos en el proceso de medición.....	49

RESUMEN

Este proyecto presenta el análisis de generación energética con propulsión humana empleando una bicicleta estática como elemento común, accesible por muchos hogares colombianos. Se presentan los diferentes factores que intervienen en el aprovechamiento de este tipo de energía, empleando un alternador como dispositivo de transformación de energía mecánica a eléctrica.

La capacidad de propulsión del cuerpo humano es aprovechada con gran eficiencia por una de las maquinas más simples inventada por el hombre la cual ha tenido pocos cambios desde su invención. En este proyecto se utilizó una variación de aquel invento; esta variación es llamada bicicleta estática la cual fue desarrollada con el fin de aportar una herramienta importante en la rehabilitación de ciclistas de élite, hoy en día es una máquina indispensable en todos los gimnasios.

Con el fin de aprovechar el funcionamiento de la bicicleta estática disponible en el laboratorio de modelos de la Universidad Tecnológica de Pereira, se pudo acoplar un alternador convencional de manera tal que la estructura de la bicicleta no requiere transformaciones y adecuaciones complejas; dicho alternador es una máquina que puede transformar la energía mecánica en energía eléctrica presentando eficiencias aceptables en la mencionada transformación de energía.

Como resultado se obtiene la capacidad del sistema de absorber la energía entregada por el cuerpo humano (específicamente la energía entregada por las extremidades inferiores) y transformarla en energía eléctrica para su almacenamiento.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a las previsiones de la IEA (International Energy Agency) un continuo crecimiento de la energía hidráulica y la rápida expansión de la eólica y la solar ha cimentado la posición de las energías renovables como parte indispensable para suplir las necesidades energéticas; para 2035[1], las energías renovables suponen casi un tercio de la producción total de electricidad. El mundo tiene abundantes fuentes potenciales de energía renovable, pero cada una tiene sus propios desafíos técnicos; en el desarrollo de éste se abordó la energía de propulsión humana, una de las fuentes de energías alternativas que a menudo es descuidada.

El objetivo general del proyecto consiste en desarrollar y evaluar un sistema de generación eléctrica que aproveche eficientemente el potencial humano, a través de la implementación de un alternador de vehículo acoplado a una bicicleta estática.

Los objetivos específicos del proyecto son:

- Realizar el diseño de la transmisión mecánica necesaria para transferir las potencias generadas en función de la rotación alcanzada por una persona promedio¹, y las necesarias para generación mínima en un alternador.
- Construir el sistema de transmisión de potencia, desde el eje conductor (pedales) hasta el eje conducido (potencia útil: eje del alternador), realizando el montaje del sistema mecánico y eléctrico que permita el transporte de corriente generada para almacenamiento en batería.
- Evaluar el sistema en términos de eficiencia energética a través de medición de potencia mecánica (torque y velocidad) y eléctrica generada (tensión y corriente).
- Emplear este proyecto, para implementar a mediano plazo un sistema de aprovechamiento de la energía de propulsión humana presente en el gimnasio de la Universidad Tecnológica de Pereira.

El proyecto tiene como alcance la aplicación de la energía eléctrica generada para cargar una batería de uso convencional en automóviles; también a futuro realizar un montaje en forma conjunta para aprovechar la energía de propulsión humana presente en las bicicletas estáticas del gimnasio UTP.

¹ Persona promedio se refiere a aquella que puede hacer actividad física pero dista de ser un deportista de alto rendimiento.

1. ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables proceden del sol, del viento, del agua de los ríos, del mar, del interior de la tierra y de los residuos. Actualmente, constituyen un complemento a las energías convencionales fósiles (carbón, petróleo, gas natural) cuyo consumo actual, cada vez más elevado, está provocando el agotamiento de los recursos y graves problemas ambientales.

Se conocen como Energías Renovables aquellas que se producen de forma continua y que son inagotables a escala humana. Son además, fuentes de abastecimiento energético que no ocasionan daños al medio ambiente. Existen diferentes fuentes de energía renovables, dependiendo de los recursos naturales utilizados para la generación de energía [2].

1.1. ENERGÍA MINIHIDRÁULICA

El agua es elemento central de la naturaleza, de nuestra vida. El agua que, dentro del círculo hidrológico, fluye por los ríos al descender de un nivel superior a un nivel inferior genera una energía cinética que el hombre lleva siglos aprovechando [2].

Hace más de 150 años, esa energía, que hasta entonces se usaba fundamentalmente para moler el trigo, comenzó a emplearse en la generación de electricidad. De hecho, fue hasta mitad del siglo XX la principal fuente de que se sirvió el hombre para producirla a gran escala.

Las centrales hidroeléctricas funcionan convirtiendo la energía cinética y potencial de una masa de agua al pasar por un salto en energía eléctrica.

El agua mueve una turbina cuyo movimiento de rotación es transferido mediante un eje a un generador de electricidad. Se consideran centrales minihidráulicas aquellas con una potencia instalada de 10 MW o menos, una frontera que hasta hace poco se situaba en los 5 MW [2].

1.2. ENERGÍA EÓLICA

El aprovechamiento del viento para generar energía es casi tan antiguo como la civilización. La primera y la más sencilla aplicación fue la de las velas para la navegación [2].

Hace dos mil quinientos años ya se puede encontrar referencias escritas de la existencia de molinos en la antigua Persia. Durante veinticinco siglos, para moler el grano o para bombear agua, el viento ha movido las aspas de los molinos.

Los aerogeneradores han pasado en tan solo unos años de tener una potencia de 25 kW a los 2.000 kW con que cuentan los que hoy se instalan en los parques. Ya hay prototipos, especialmente para ser instalados en el mar, que tienen más de 5.000 kW.

La explotación de la energía eólica se lleva a cabo en la actualidad fundamentalmente para la generación de electricidad que se vende a la red y ello se hace instalando un conjunto de molinos que se denominan parque. En la actualidad los parques que se están inaugurando tienen normalmente una potencia instalada que oscila entre los 10 y los 50 MW [2].

1.3. LA BIOMASA

La Biomasa, abreviatura de "masa biológica", comprende una amplia diversidad de tipos de combustible energético que se obtiene directa o indirectamente de recursos biológicos.

La biomasa comprende una amplia gama de materiales orgánicos que son incorporados y transformados por el reino animal, incluido el hombre. El hombre, además, la transforma por procedimientos artificiales para obtener bienes de consumo. Todo este proceso da lugar a elementos utilizables directamente, pero también a subproductos que tienen la posibilidad de encontrar aplicación en el campo energético. A cada tipo de biomasa corresponde una tecnología diferente; así, la biomasa sólida, como la madera, se quema o gasifica, mientras que la biomasa líquida, como aceites vegetales, se utiliza directamente en motores o turbinas, y la biomasa húmeda se puede convertir biológicamente en gas de combustión [2].

1.4. ENERGÍA SOLAR

La energía solar es una fuente de energía de origen renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del sol [2].

La radiación solar que alcanza la tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la antigüedad, mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando con el tiempo desde su concepción. En la actualidad, el calor y la luz del sol

pueden aprovecharse por medio de captadores como células fotovoltaicas y colectores térmicos, que pueden transformarla en energía eléctrica o térmica.

Las diferentes tecnologías solares se clasifican en pasivas o activas según cómo capturan, convierten y distribuyen la energía solar. Las tecnologías activas incluyen el uso de paneles fotovoltaicos y colectores térmicos para recolectar la energía [2].

1.5 ENERGÍA GEOTÉRMICA

El término geotérmico se refiere al calor contenido dentro de la tierra asociado con el sustrato móvil debajo de la delgada corteza sólida. Las grandes placas que constituyen la corteza terrestre, flotan sobre este sustrato caliente formando una capa rocosa que lo cubre como un manto aislante [2].

La energía geotérmica se puede usar de forma directa, para calefacción de hogares, temperar invernaderos y criaderos de peces, deshidratar vegetales, secar madera, entre otras aplicaciones. Esta energía también puede usarse de forma indirecta, para producir electricidad. Generalmente, la fuerza que genera el vapor se aprovecha para impulsar una turbina capaz de mover un generador eléctrico [3].

1.6. ENERGÍA MAREOMOTRIZ

Las mareas son movimientos oscilatorios del nivel del mar, debido a las fuerzas de atracción gravitacional que la luna y el sol ejercen sobre las partículas líquidas de los océanos [4].

El comportamiento de las mareas y el desnivel de las mismas dependen de la posición relativa de la tierra, el sol y la luna, que cambia cada día y de la proporción mareas-tierra (3:1), de su distribución geográfica, de la topografía local, de la profundidad de las cuencas oceánicas, de los fenómenos meteorológicos y otros factores.

La potencia asociada a las mareas se estima del orden de 3TW. Sin embargo, para el aprovechamiento eficaz de la energía mareomotriz es necesario que la amplitud de las mareas sea al menos de cinco metros y que exista una bahía apropiada para la recolección y almacenamiento del agua en las pleamares. Además, la potencia disponible en las costas se reduce a valores del orden de 1TW [2].



Figura 1. Aprovechamiento de la energía cinética de las olas. Disponible en: <http://www.capital.cl/poder/2012/12/21/111247-energia-mareomotriz-corriente-marina>.

1.7. ENERGÍA DE PROPULSIÓN HUMANA

En países en desarrollo, es razonable la necesidad de buscar formas de generación energética mecánica que no demanden de ningún consumo eléctrico. Se encuentran aplicaciones para licuar frutas, lavar ropa, moler trigo, taladrar, etc. Con base en movimientos rotacionales impulsados por personas [2]. En otros países, se han desarrollado formas de generación con múltiples personas, ejemplo de ello, se tienen parques infantiles, gimnasios, puertas giratorias en centros comerciales, etc.

Tomando una energía de propulsión externa se aprovecha la energía cinética que se genera a través de mecanismos de transmisión que se adaptan a generadores de corriente continua para así convertir la energía cinética en eléctrica. También la propulsión humana puede ser aprovechada al transformarla en energía mecánica útil para realizar gran variedad de trabajos, llegando a reemplazar en algunos casos máquinas que solo podían ser accionadas por la electricidad. La figura 2 presenta un ejemplo de aplicación de este tipo de aprovechamiento energético.



Figura 2. Central energética a propulsión humana a base de pedaleo comunitario. Disponible en: <http://www.terra.org/categorias/articulos/energia-de-propulsion-humana-en-bicicleta>

1.8 DEFINICIONES RELACIONADAS CON LA ENERGÍA Y LA POTENCIA

En esta sección se pretende aclarar los significados de algunos términos utilizados en el desarrollo de este proyecto.

Para el sistema de generación eléctrica eficiente a partir de propulsión humana con base en una bicicleta estática es necesario establecer los términos que rigen el comportamiento del cuerpo humano en presencia de actividad física [5].

Las siguientes son algunas de las definiciones de las variables usadas en la cuantificación de la energía:

- **Joule (J):** Un joule es el trabajo producido por una fuerza de 1 N, cuyo punto de aplicación se desplaza 1 metro en la dirección de la fuerza. Esta cantidad cuantifica la cantidad de trabajo mecánico absoluto realizado, dado que el trabajo mecánico es la carga física real que se está imponiendo sobre el cuerpo.

- **Potencia:** Un watt (W) es la potencia que da lugar a una producción de energía igual a 1 J por segundo. Por tanto, cuando se está realizando un trabajo de 200W, se está generando 200J de energía mecánica cada segundo.
- **Caloría:** Una caloría (cal) es una unidad de energía alternativa al julio que se define como la energía requerida para aumentar en 1°C la temperatura de 1 gramo de agua en condiciones ambientales estándar ($T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$, $P_{atm} = 1 \text{ atm}$). La relación entre calorías, Joule y Wh es:

$$1 \text{ kcal} = 4184 \text{ J} = 1,1622 \text{ Wh}.$$

- **Eficiencia bruta:** Suele definirse como la relación entre el trabajo mecánico realizado y la energía global invertida. Para calcular la eficiencia bruta, tomaríamos la energía mecánica y la dividiríamos por la energía total que el cuerpo consume (calculada midiendo el consumo de oxígeno convirtiéndolo luego a joule). El término eficiencia bruta se refiere más a la economía metabólica interna que a la economía global del sistema hombre-máquina. La única forma de calcular con precisión la eficiencia bruta es realizando una prueba de esfuerzo con un equipo que mida directamente el consumo de oxígeno [5].
- **Energía cinética rotacional:** Es la energía que posee un cuerpo de masa m por consecuencia del movimiento rotacional provocado por una fuerza externa. La energía cinética rotacional de un cuerpo viene dada por:

$$E_c = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (1)$$

E_c : Energía cinética

ω : Velocidad angular [rad/s]

I : Momento de inercia de la masa sobre el eje de rotación [kg/m^2]

- **Potencia mecánica:** Es el trabajo desarrollado por un elemento para desplazar o rotar un cuerpo en la unidad del tiempo. Se puede transmitir por el accionamiento de un mecanismo o por esfuerzo físico realizado a dicho cuerpo. La potencia mecánica viene dada por:

$$\dot{W}_M = T \times \omega \quad (2)$$

Donde:

\dot{W} : Potencia mecánica

T : Par generado

ω : Velocidad angular

- **Potencia eléctrica:** Es la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo por lo tanto potencia es igual a tensión a la que se conecta el receptor, por la intensidad que atraviesa el receptor y viene dado por la por:

$$W_E = V \times I \quad (3)$$

Donde:

V: Tensión

I: Corriente

2. EL CUERPO HUMANO COMO TRASFORMADOR DE ENERGIA

2.1. COMPORTAMIENTO DEL CUERPO HUMANO EN PRESENCIA DE ACTIVIDAD FÍSICA

El cuerpo es una máquina compleja, lo cual explica por qué los científicos siguen aún explorando afanosamente su funcionamiento interno después de siglos de estudio. De hecho, aunque se conozca en líneas generales la anatomía y fisiología de los principales sistemas del cuerpo, existen vacíos aún en las razones implícitas para el aumento del ritmo cardiovascular y la fatiga durante el ejercicio. Una de las razones de esta falta de claridad es que el organismo es tan complejo que lo más probable es que haya múltiples factores implicados, cada uno de los cuales puede combinarse por separado o sinérgicamente, para provocar un estado de fatiga [5].

2.2. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN EL CUERPO HUMANO

El cuerpo humano al comportarse como una maquina térmica tiene la capacidad de generar trabajo a través de la conversión energética realizada en el sistema metabólico el cual es el encargado de suministrar los nutrientes y azúcares necesarios (adenosin trifosfato (ATP)) para el óptimo desempeño de cada uno de los órganos y sistemas que componen el cuerpo humano. El organismo no es eficiente al 100% al convertir metabólicamente en energía mecánica la energía almacenada, sino que, como el motor de combustión de un automóvil, la inmensa mayoría se transforma en energía térmica, de tal modo que el cuerpo humano sólo es eficiente en un 20-25 por ciento.

Para permitir la realización de distintos tipos de ejercicio, desde aceleraciones súbitas en el pedaleo hasta pruebas de resistencia de 60 km, el cuerpo humano emplea tres sistemas metabólicos de la energía distintos pero interrelacionados para generar ATP: el sistema anaeróbico aláctico o de fosfocreatina, la glucólisis anaeróbica y el metabolismo o sistema aeróbico.

La capacidad aeróbica del deportista puede cuantificarse con relativa simplicidad midiendo el índice de consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.); también puede estimarse la cantidad de calorías usadas en una actividad física mediante el uso de tablas que asignan un factor de pérdidas de calorías para cada actividad [5].



Figura 3. Prueba de eficiencia energética en una bicicleta ergométrica. Disponible en: http://www.fitstop-lab.com/cmecycle_1.htm

3. GENERALIDADES DE LA TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA A ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE LA BICICLETA ESTÁTICA

El principal beneficio de la actividad física en este equipo es la posibilidad de ejecutar un entrenamiento cardiovascular de bajo impacto para las articulaciones. Con el uso constante de una bicicleta estática es posible: tener más aliento y resistencia en la vida cotidiana, bajar la presión, reducir la incidencia de las enfermedades cardiovasculares y mantener siempre activas las articulaciones. También puede llegar a reducir considerablemente el estrés [6], permite descargar la tensión cotidiana y ayuda a mantenerse en forma más tiempo.

El funcionamiento del sistema de generación es inicialmente accionado por la fuerza que le imprimen las piernas del tripulante a los pedales (Figura 9) con lo cual se logra transmitir potencia a través de la cadena y rueda de fricción hasta el eje del alternador.

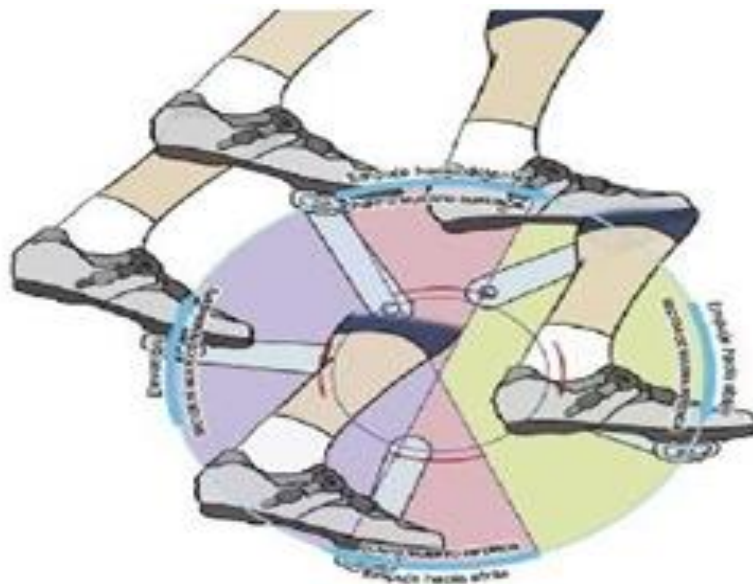


Figura 4. Forma de pedalear en una bicicleta. Disponible en: <https://mountainbikelaultimafrontera.wordpress.com/2012/03/14/mejora-tu-pedaleo/>

La fuerza promedio que se puede ejercer en los pedales según la prueba realizada con una báscula convencional (véase el Anexo A) es aproximadamente 30 kg por lo tanto la fuerza aplicada es de 294,3 N con lo cual se puede estimar la potencia que se genera así:

$$T = F \times L \quad (4)$$

Donde:

T : Es el torque

F : Fuerza aplicada

L : Longitud de la biela. La cual se toma como 17 cm (longitud más utilizada en la construcción de bielas para bicicleta)

Reemplazando los valores en la ecuación (4):

$$T = 294,3 \text{ N} \times 0,17 \text{ m}$$

$$T = 50,031 \text{ Nm}$$

Por lo tanto si se logra mantener una velocidad de pedaleo de 60 rpm, que equivale a 6,283 rad/s, se estimaría la potencia generada con la expresión (2):

$$\dot{W}_M: 50,031 \text{ Nm} \times 6,283 \text{ rad/s}$$

$$\dot{W}_M: 314,344 \text{ W}$$

Se considera que una persona de constitución física promedio puede pedalear varias horas sin sufrir fatiga y recuperarse rápidamente si se mantiene generando alrededor de 75 W (Whitt y Wilson, 1982) [7]. Los autores plantean además que una persona puede realizar un trabajo 3 a 4 veces superior al ponerse de pie para alcanzar potencias de 300 W en periodos muy cortos de tiempo. Al ponerse de pie una persona requiere normalmente más energía, haciendo que se fatigue en menor tiempo, pero también aumenta más la palanca que ejerce el peso corporal sobre los pedales e involucra músculos adicionales, haciendo así posible una potencia más elevada [5].

Las revoluciones alcanzadas en los pedales disminuirán o aumentarán según la relación de transmisión instalada, representada así:

$$N_1 \times Z_1 = N_2 \times Z_2 \quad (5)$$

Donde:

N_1 = Revoluciones alcanzadas al pedalear

Z_1 = Número de dientes del piñón conductor

N_2 = Revoluciones alcanzadas en la volante de inercia

Z_2 = Número de dientes del piñón conducido

Las revoluciones se transmiten directamente a la volante de inercia que almacena una energía cinética que puede ser transmitida o transformada en otro tipo de energía por medio de alguna maquina o elemento capaz de aprovechar dicha

energía, ya que la volante puede ser utilizada como elemento de transmisión. Esta energía entregada por la volante de inercia viene dada por la ecuación (1).

La energía que se transmite a través de la volante de inercia puede aumentar o disminuir dependiendo de la relación que sea posible usar. El número de revoluciones transmitido por la volante se puede calcular haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$N_1 \times \phi_1 = N_3 \times \phi_3 \quad (6)$$

N_1 = Revoluciones alcanzadas en la volante

ϕ_1 = Diámetro de la volante

N_2 = Revoluciones alcanzadas en el eje del alternador

ϕ_2 = Diámetro de la rueda de fricción.

Para el aprovechamiento de la energía cinética rotacional que se genera en una bicicleta estática se adecua un generador eléctrico el cual entregará una potencia eléctrica, que puede ser calculada con la expresión (3).

Toda transmisión de potencia genera pérdidas. Para cuantificarlas se establece la eficiencia del sistema así:

$$\eta = \frac{\dot{W}_E}{\dot{W}_M} \quad (7)$$

Donde:

η : Eficiencia del sistema generador de electricidad

3.1. DEFINICIONES Y FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN EL SISTEMA

En esta sección se pretende aclarar las funciones realizadas por los elementos que hacen parte del componente mecánico y eléctrico

3.1.1 Componentes mecánicos. El sistema mecánico principalmente compuesto por el bastidor de una bicicleta estática convencional la cual cuenta con los mecanismos y elementos necesarios para la transmisión de potencia; estos son:

- **Pedales:** Proporcionan la superficie de apoyo al pie del ciclista; elemento fundamental e indispensable en cualquier máquina que requiera el impulso que pueden desarrollar las piernas del cuerpo humano. Pueden ser contruidos en polímeros de alta densidad como es el caso del pedal de la bicicleta estática utilizada en el desarrollo de este proyecto, aluminio o materiales compuestos.

- **Biela-plato:** Este es un conjunto que puede ser contruido como un solo elemento o como en la mayoría de los casos como elementos ensamblables entre sí; la función desempeñada por este conjunto es la de obtener el par desarrollado por las piernas el cual se transmitirá directamente hacia el plato, que finalmente, dependiendo del número de dientes multiplicara o disminuirá el par inicial. Ambas piezas contruidas en aluminio.

- **Cadena de rodillos:** Por medio de este elemento se realiza la transmisión de potencia entre ejes, este tipo de cadenas están presentes en la mayoría de bicicletas debido a su eficiencia, que se encuentra alrededor del 96-97% con lo cual se estará transmitiendo en su totalidad la potencia entregada.

- **Piñón:** El piñón conducido es el encargado de recibir la velocidad angular y el par que se transmite por la cadena; este puede estar girando a mayores o menores revoluciones dependiendo de la relación existente.

- **Rodamiento:** En todo elemento o máquina en la cual se haga presente un movimiento de rotación será indispensable usar un elemento que disminuya en gran medida la fricción, con lo cual las pérdidas de potencia serán menores.

Los rodamientos que se pueden observar en todo el sistema de generación constan de 2 tipos [8].

- **Rodamientos rígidos de bolas:** Tienen un campo de aplicación amplio. Son de sencillo montaje y no desmontables, adecuados para altas velocidades de funcionamiento, y además requieren poco mantenimiento (eje del alternador).

- **Rodamientos axiales de agujas:** Pueden soportar grandes cargas axiales y requieren de un espacio axial mínimo. son rodamientos de simple efecto y solo pueden absorber cargas axiales en un sentido. Este tipo de rodamientos es comúnmente muy utilizado en los pedales para bicicletas.

- **Volante de inercia:** Puede ser considerado como un elemento o sistema que tiene la característica de almacenar energía cinética y suavizar el

movimiento rotativo en un eje ya que consigue disminuir la fluctuación en la velocidad angular.

- **Rueda de fricción:** Aprovechando la fricción siempre presente entre dos cuerpos en contacto. Las ruedas de fricción la aprovechan para comportarse como elementos de transmisión de potencia limitados por el resbalamiento por lo cual se usa para aplicaciones que no requieran potencias considerables.

3.1.2 Componentes eléctricos. Los componentes eléctricos necesarios para el desarrollo del sistema de generación son los siguientes:

- **Alternador:** Componente principal en el sistema eléctrico de los automóviles el cual suministra la electricidad necesaria para el funcionamiento de todos los instrumentos y elementos eléctricos presentes; la electricidad proporcionada puede ser también almacenada en las baterías de arranque de cualquier automóvil. El alternador es el elemento del circuito eléctrico del automóvil que tiene como misión transformar la energía mecánica en energía eléctrica ac, proporcionando así un suministro eléctrico durante la marcha del vehículo.



Figura 5. Partes de un alternador. Disponible en:
<http://foro12.renault12club.com.ar/viewtopic.php?f=4&t=1510&start=15>

- **Regulador:** Los reguladores son necesarios para controlar el rango admisible de tensión en las baterías puesto que éstas solo admiten cierto valor de tensión el cual no puede exceder ni estar por debajo del rango admitido por la batería, en este caso el regulador mantiene una tensión máxima de salida del alternador de 14.5 V.
- **Batería:** Su función es almacenar energía eléctrica, la cual se encuentra confinada en celdas; estas celdas transforman la energía química en

eléctrica mediante un proceso llamado electrólisis que consiste en el proceso que separa los elementos de un compuesto por medio de la electricidad. En ella ocurre la captura de electrones por los cationes en el cátodo (una reducción) y la liberación de electrones por los aniones en el ánodo (una oxidación) [9].

- **Interruptor:** Un interruptor es el dispositivo encargado de cortar o dar paso al flujo de corriente eléctrica hacia un determinado punto de la red eléctrica.
- **Bombillos:** Mediante la corriente que fluye por un filamento de pequeñas dimensiones el cual se encuentra rodeado por un gas y una membrana por lo general constituida por un tipo de vidrio con propiedades térmicas y visuales; capaz de generar luminosidad. En este caso es usado como indicador en el momento que se empieza a generar electricidad en el alternador éste se apaga.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA BICICLETA GENERADORA DE ELECTRICIDAD

Se usó una bicicleta estática convencional (Figura 6) disponible en el laboratorio de Modelos de la Universidad Tecnológica de Pereira. Ya que La bicicleta es una maquina muy eficiente porque elimina las fuerzas de impacto y sostiene al cuerpo en una posición que minimiza enormemente la necesidad de que el cuerpo humano soporte su propio peso con lo cual se aprovecha una mayor energía cinética rotacional en el eje del generador eléctrico. Dicha bicicleta se encontró en el estado que se observa en la figura, la cual cuenta con una volante de inercia de 35 cm de diámetro y sprockets de 14 y 53 dientes con su respectiva cadena de transmisión.



Figura 6. Bicicleta estática sin modificaciones.

4.1. SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Con el fin de aprovechar eficientemente el espacio y la potencia disponible se establece un sistema de transmisión que no requiere de adecuaciones y transformaciones complejas en la estructura de cualquier bicicleta estática. El diseño del sistema de transmisión planteado se observa en la figura 7.

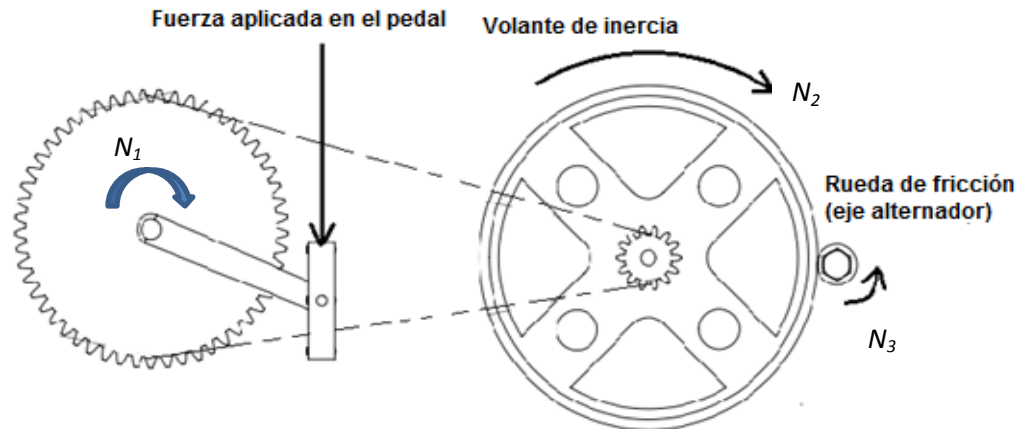


Figura 7. Transmisión de potencia.

La figura 7 muestra el proceso de transmisión de potencia desde los pedales hasta el eje del alternador.

La potencia suministrada por las extremidades inferiores del tripulante es transmitida desde los pedales hacia el eje del alternador por medio de una relación que cuenta con un piñón de entrada de 53 dientes y un piñón de salida de 14 dientes y utilizando como elemento transmisor de potencia una cadena de rodillos; para así lograr entregar la potencia en la volante de inercia la cual cuenta con un diámetro de \varnothing 35 cm. Ésta transmite velocidad angular y torque al eje del alternador por medio de una rueda de \varnothing 3,8 cm de diámetro acoplada a dicho eje por fricción.

Para la implementación de la bicicleta estática como sistema de generación de electricidad se aborda las características de funcionamiento de un alternador, el cual genera corriente eléctrica útil a partir de un número de revoluciones por minuto mínimo pero cuando se logra superar estas revoluciones el valor de corriente incrementa notablemente. Pruebas realizadas en vacío mostraron que las corrientes se generan una vez supera velocidades de 700 RPM. Esto obligaba a establecer una relación de transmisión que permita alcanzar tal velocidad, a partir

de velocidades bajas. La velocidad captada en una persona promedio oscila entre 1 y 2 giros cada segundo², optando por elegir la más baja (60 RPM).

Determinación de las relaciones presentes en la transmisión y estimación de las revoluciones:

Con base en la ecuación (5) y asumiendo 60 rpm en N_1 (eslabón de entrada, pedales), se calcula la velocidad en la volante N_2 :

$$N_2 = N_1 \times \frac{Z_1}{Z_2} = 60 \text{ rpm} \times \frac{53}{14} = 227,1428 \text{ rpm}$$

La relación de transmisión en la primera etapa es entonces:

$$i = 3,7857$$

Para el cálculo de la velocidad en el eje del alternador N_3 , se tiene entonces (ecuación 6):

$$N_3 = N_2 \times \frac{\phi_2}{\phi_3} = 227,1428 \text{ rpm} \times \frac{35 \text{ cm}}{3,85 \text{ cm}} = 2064,93 \text{ rpm}$$

Estableciendo una relación total de transmisión:

$$i = \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{\phi_2}{\phi_3} = 9,0909$$

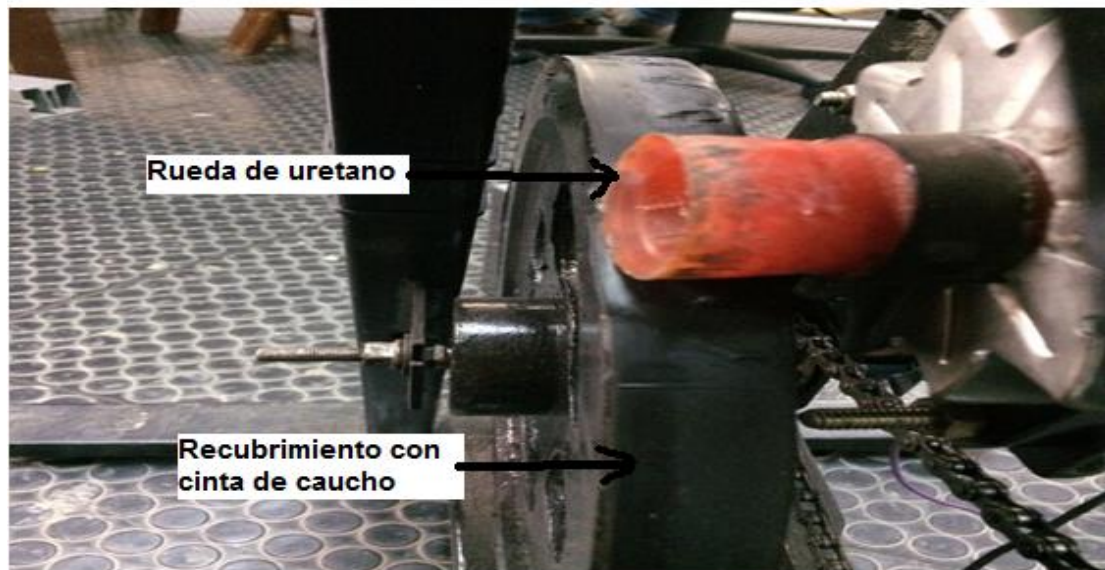


Figura 8. Vista superior de la transmisión por fricción.

² Este dato surge del promedio de las pruebas realizadas con 15 personas (tabla 1).

En la figura 8 se observa la transmisión por contacto (rueda de fricción- volante de inercia); en la cual se emplea una rueda de uretano³ que permite minimizar las pérdidas por deslizamiento, para garantizar que las pérdidas debidas al deslizamiento sean mínimas se adecuó a la periferia de la volante un material de alta fricción. De esta forma se logra una alta velocidad en el alternador la cual se calcula de esta manera:

Retomando la ecuación (7)

$$N_2 = N_1 * \frac{\phi_1}{\phi_2} = 227,1428 \text{ rpm} * \frac{35 \text{ cm}}{3,85 \text{ cm}} = 2064,93 \text{ rpm}$$

Incrementando la relación de transmisión total a $i = 34,36$

4.2. ALTERNADOR-REGULADOR

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó un alternador (Figura 9) de uso comercial con las siguientes características: 12 V 35 A, el cual requiere una conexión simple como se observa en la figura 10.

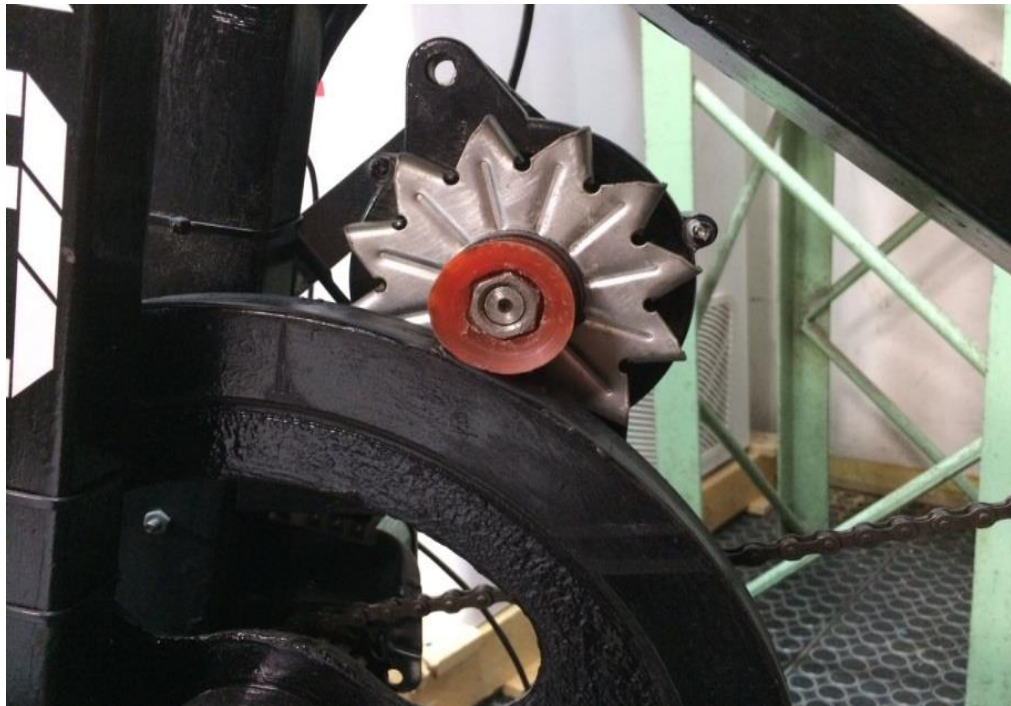


Figura 9. Vista lateral izquierda de la transmisión por fricción.

³ Polímero con el cual se fabrican ruedas de patín debido a su capacidad de resistir al desgaste por fricción.

El alternador implementado se instaló sobre el bastidor de la bicicleta, lo cual permite que el alternador se encuentre unido y estable a toda la estructura y de forma tal que su montaje no modifica ni altera en gran medida la estructura de la bicicleta estática (Figura 9); dicho alternador cuenta con las siguientes características:

- Potencia de salida máxima: 535 W
- Salida de corriente máxima a plena carga: 42 A
- Valor de tensión necesario: 12 V

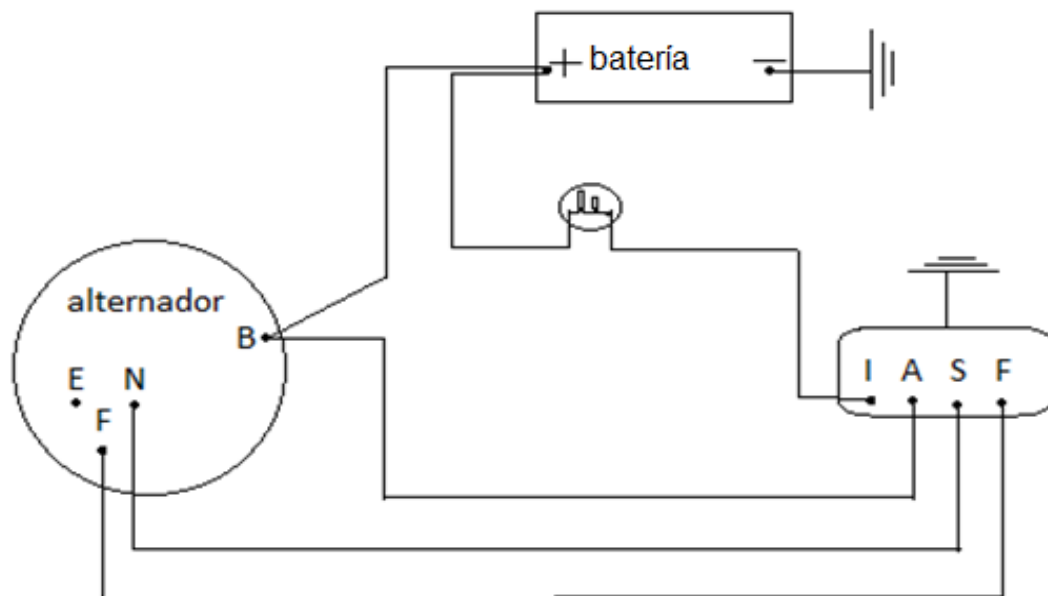


Figura 10. Esquema de conexión del sistema de generación.

Este alternador no fue alterado en ninguno de sus componentes pero la corriente de excitación fue regulada mediante el uso de un consumidor de corriente en este caso un bombillo de 12 V a 8 mA que permitió reducir dicha corriente hasta un 50% de su valor inicial (Figura11).

Para lograr una disminución en el esfuerzo requerido por el tripulante ya que para vencer la carga generada por la inducción presente en el rotor se requería aplicar una fuerza considerable en los pedales ocasionando la fatiga temprana del tripulante.

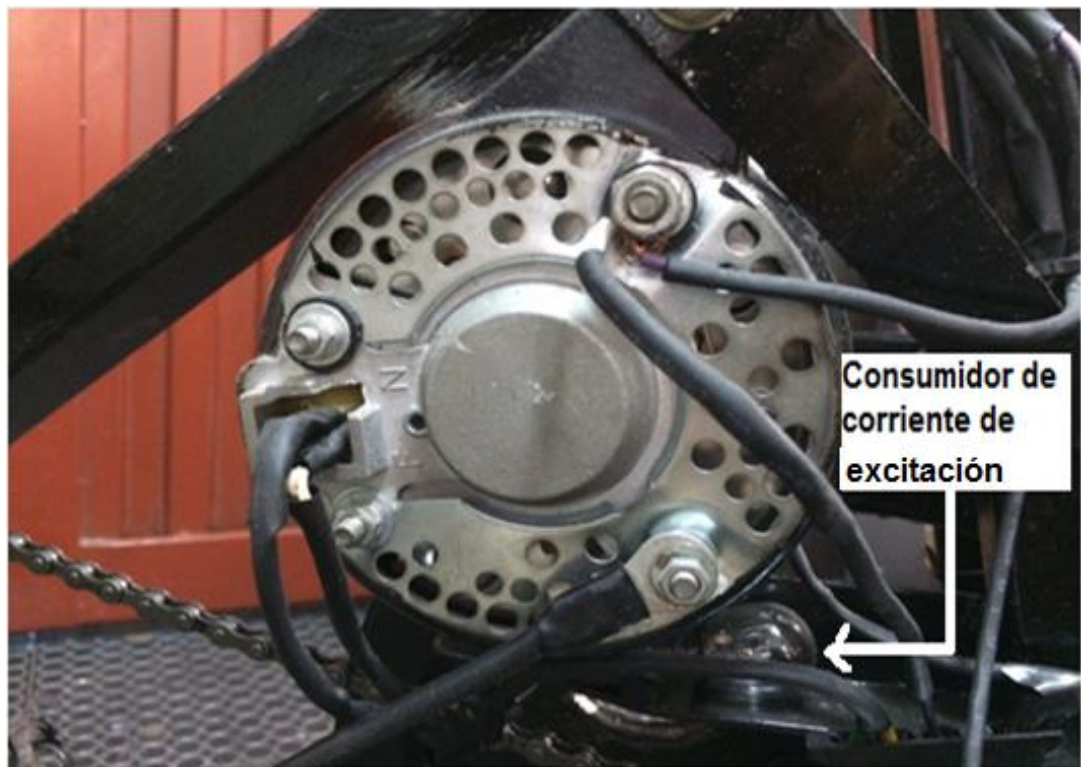


Figura 11. Conexiones de salida de corriente generada

Además del consumidor de corriente de excitación es necesaria la conexión al alternador de un regulador externo (Figura 12) el cual cumple la función de entregar un valor constante de tensión que se encuentra alrededor de 14 V; dicho regulador es necesario ya que debido a la variación de cadencia en el pedaleo por la fatiga de los músculos, factores fisiológicos y mecánicos las revoluciones en el eje del alternador varían constantemente, lo cual genera valores de tensiones cambiantes.



Figura 12. Regulador externo de tensión.

En la figura 12 se observa el tipo de regulador utilizado para mantener los niveles de tensión necesarios en la batería el cual se caracteriza por tener una conexión IASF que significa lo siguiente:

- **I:** Indicator (luz indicadora de carga) cable que viene de la luz del bombillo indicador de generación (testigo).
- **A:** Alternator (alternador) viene del alternador, es una tensión generada por la corona directamente del alternador; esta señal es la que toma el regulador para saber la carga que está generando el alternador.
- **S:** Stator Windings (bobinados del estator), se conecta al estator que es el punto en común de los 3 bobinados. Es la tensión de referencia que toma el regulador para identificar si la intensidad de corriente es suficiente para encender la luz indicadora y si el campo de excitación es el correcto para el buen funcionamiento del alternador.
- **F:** Field (campo excitador) está conectado directamente sobre las escobillas del alternador y es el encargado de hacer que el alternador empiece a generar corriente [10].

4.3. BATERÍA

El almacenamiento de la energía eléctrica obtenida se encuentra a cargo de una batería de gel de 55 Ah (Figura 13), característica que brinda una exigencia de pedaleo cómodo para el tripulante ya que la corriente de carga recomendada para una batería debe ser la décima parte de su capacidad; para esta batería la corriente recomendada de carga estará alrededor de 5,5 A.

La corriente eléctrica que se crea en el alternador es alterna; sin embargo, la batería, necesita corriente directa. Por eso, la corriente alterna del alternador pasa a través de un juego de diodos que rectifican la señal, convirtiéndola en corriente directa. El regulador ajusta y mantiene el nivel adecuado de tensión en 12 VDC, haciendo que la batería trabaje sin sobrecargas.



Figura 13. Batería seca.

4.4. CONEXIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

Los diferentes componentes del sistema fueron conectados y ensamblados a la estructura de la bicicleta estática de forma tal que permitiese un pedaleo cómodo para el tripulante. En la figura 14 se observa la disposición del alternador el cual se encuentra sujeto al bastidor de la bicicleta para lograr que el eje del alternador se ubique paralelo al eje de la volante de inercia permitiendo el contacto en la

periferia de ésta; el regulador de tensión también se encuentra sujeto a la estructura con tornillos usando el bastidor como conexión a tierra para evitar alguna descarga eléctrica al tripulante, finalmente la batería se posiciona a una distancia prudente para que no sea un obstáculo en la actividad física.



Figura 14. Vista lateral derecha de la bicicleta generadora de electricidad.

4.5. COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA

4.5.1. Medición de variables y visualización del sistema de generación. La persona que se encuentre realizando la actividad física en la bicicleta estática generadora puede observar diferentes variables como: velocidad de en la volante de inercia, distancia total recorrida, tensión y corriente generados respectivamente los cuales se están midiendo instantáneamente gracias a la adecuación de elementos de medición (Figura 15) tales como:

- Velocímetro **Cateye tipo inalámbrico** que permite visualizar la velocidad actual en km/h. Ya que el sensor está instalado sobre la volante de inercia, se puede obtener el valor de la velocidad angular de esta mediante la expresión:

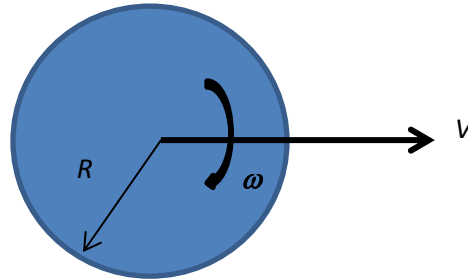


Figura 15. Movimiento de rotación.

$$V = \omega R \quad (8)$$

La velocidad angular en términos de RPM se determina entonces como:

$$N = \frac{30 V}{3,6 \pi R} \quad (9)$$

Donde:

N : RPM

V : Velocidad tangencial [km/h]

R : Radio de la volante [m]

Así se puede obtener la velocidad angular; además se puede visualizar la distancia total recorrida, velocidad media, velocidad máxima y tiempo de actividad.

- Amperímetro con un rango de 0 a 20 A ya que se observó que el alternador generaba valores dentro de este rango.
- Multímetro **FLUKE** permite observa el nivel instantáneo de tensión generado por el tripulante mientras realiza la actividad física.

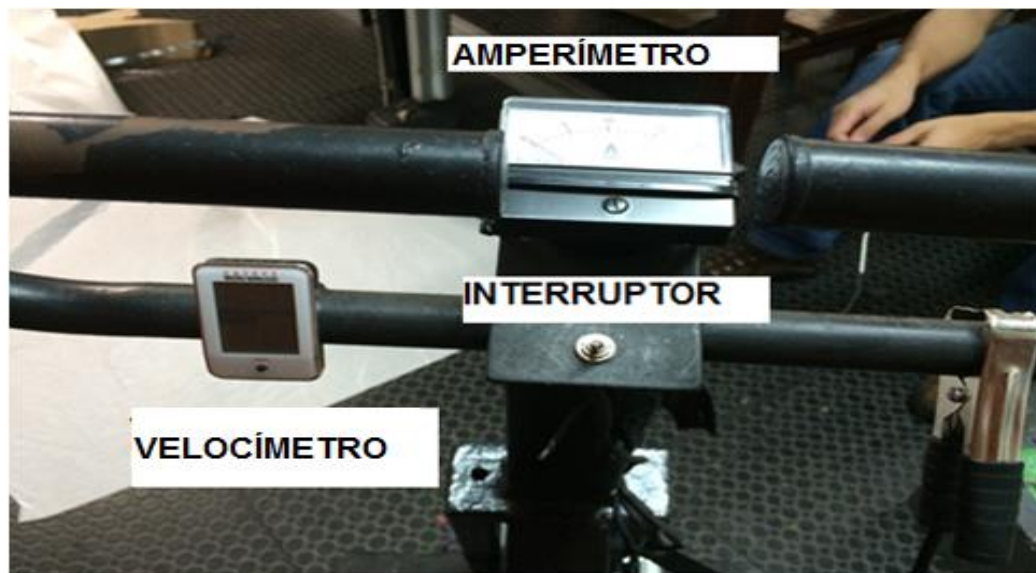


Figura 16. Elementos visuales de medición de corriente generada y velocidad en la volante.

El conjunto alternador-regulador cuenta también con un interruptor (Figura 14) que al excitar el rotor del alternador con una pequeña cantidad de corriente del acumulador (batería) desconecta el circuito para que no consuma energía de la batería ya que cuando este empieza a girar (al recibir un torque) comienza a generar energía eléctrica con la cual el regulador se autoalimenta.

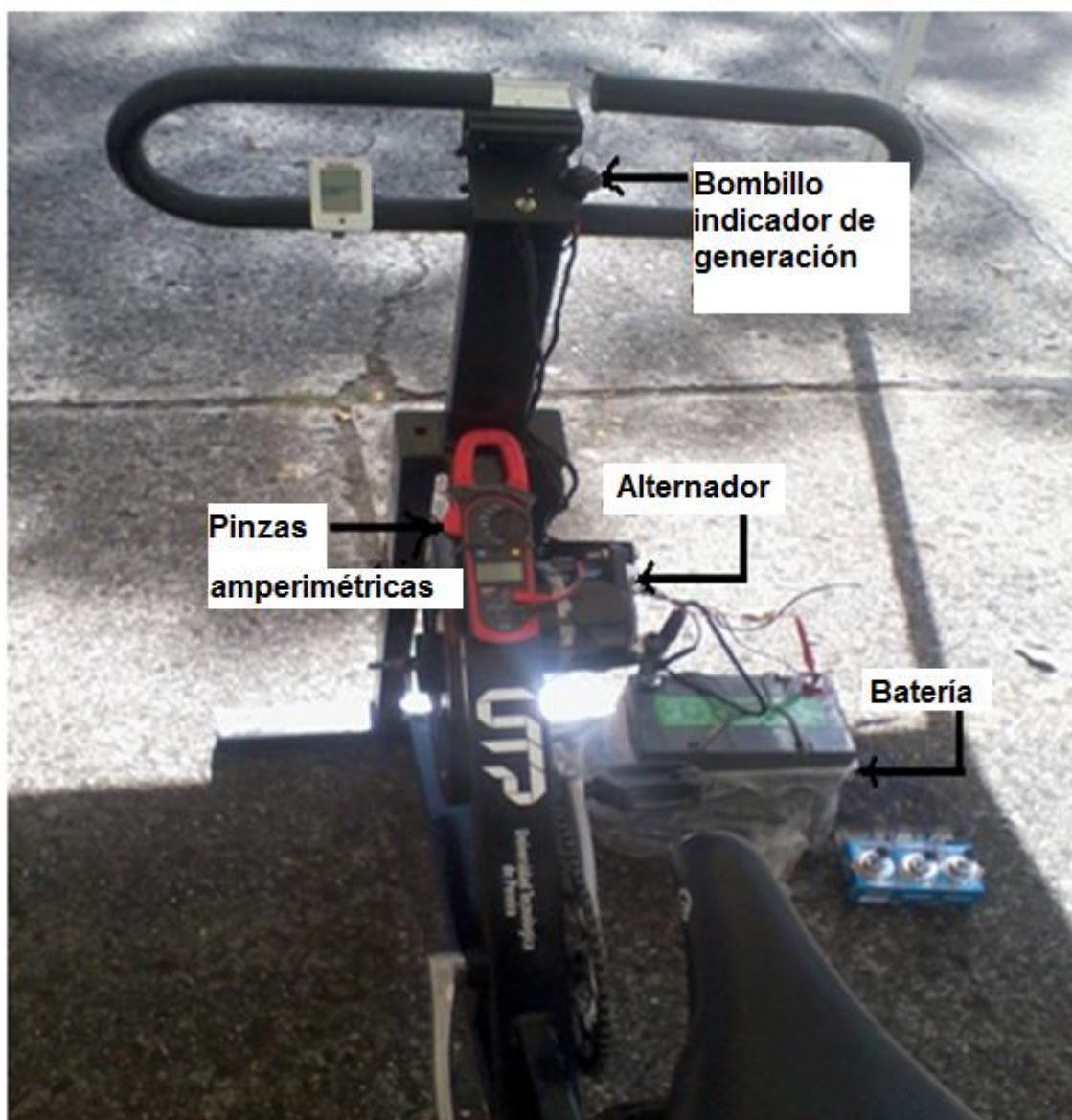


Figura 17. Vista superior bicicleta generadora de electricidad.

4.5.2. Recolección de datos. El sistema de generación desarrollado aprovechando la propulsión humana (Figura 14) fue sometido a pruebas para determinar el tipo de señal generada (Figura 17) esto con la ayuda de un sensor de corriente lineal ACS715 (véase Anexo B) el cual acepta una entrada de corriente unidireccional de hasta 30 A y la medición de tensión mediante el uso de un circuito resistivo como divisor de tensión y así lograr captar la tensión y la corriente generada mediante la tarjeta de adquisición de National Instruments.

La figura 17 presenta una imagen de la captura de datos de corriente (A) en el proceso de generación eléctrica en una prueba típica.

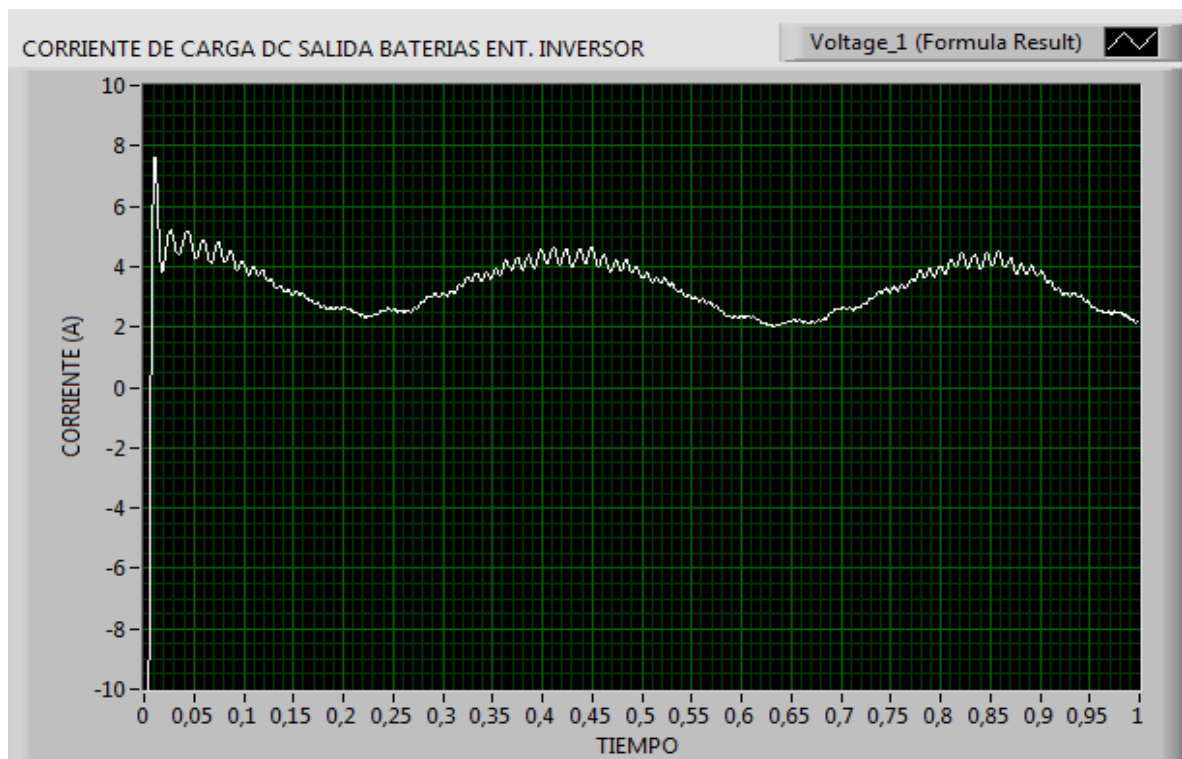


Figura 18. Comportamiento de la corriente según LabVIEW⁴. (Señal continua sinusoidal positiva).

Para la consecución de los datos necesarios para caracterizar el funcionamiento del sistema de generación se tomó una muestra como la usada en la inmensa mayoría de los estudios sobre ejercicios la cual es conformada por sujetos “aficionados” o “activos”, que normalmente son hombres en edad universitaria que pueden o no estar entrenados en ciclismo. Dicha muestra está conformada por 15 personas que se encuentran en una edad promedio de 21 años de edad con una vida medianamente sedentaria e índices de masa corporal en estado normal los cuales son tripulantes de la bicicleta generadora de electricidad.

Los datos presentados en las siguientes tablas fueron recolectados durante 5 minutos de pedaleo a una velocidad promedio de 16 km/h con la ayuda de un sensor de corriente lineal ACS715, circuito resistivo, computadora de ciclismo, elementos anteriormente mencionados también se usó un cronómetro y finalmente para obtener las revoluciones presentes en el eje del alternado un tacómetro digital multifuncional con un rango de velocidad de giro de 3 a 99 999 rpm.

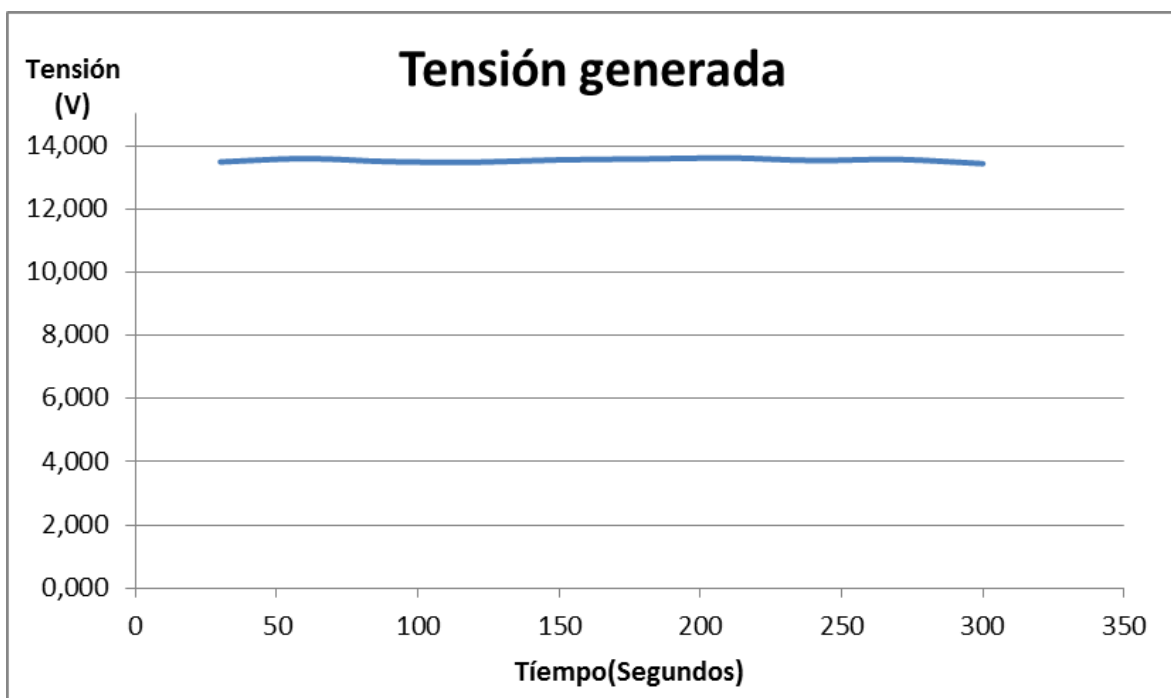
⁴ LabVIEW es una plataforma de programación gráfica que ayuda a ingenieros a escalar desde el diseño hasta pruebas y desde sistemas pequeños hasta grandes sistema. Elaborado por la National Instruments.

N° datos	Personas	Tiempo (minutos)	Cadencia promedio	Velocidad promedios volante (km/h)	Revoluciones en el eje del alternador (RPM)	Corriente generada (A)	Tensión generada (V)	Potencia generada (Watt)
1	persona A	5 minutos	31	16,26	2070,9	5,45	13,12	71,49
2	persona C	5 minutos	32,7	16,44	2080,9	4,75	13,04	61,92
3	persona D	5 minutos	24,1	13,9	1910,2	2,95	12,87	37,96
4	persona E	5 minutos	34,2	16,31	2173	5,75	13,30	76,49
5	persona F	5 minutos	30,8	15,42	2066,5	3,55	14,13	50,14
6	persona G	5 minutos	31,3	15,7	2135,1	3,73	14,31	53,37
7	persona H	5 minutos	32,3	15,59	2024,6	3,58	13,31	47,64
8	persona I	5 minutos	33,6	16,24	2190,6	4,6	13,97	64,28
9	persona J	5 minutos	34,4	15,41	2100,2	4,15	13,45	55,81
10	persona K	5 minutos	32,2	15,65	2038,3	4,18	13,48	56,36
11	persona L	5 minutos	28,9	16,15	2161,6	4,9	13,77	67,46
12	persona M	5 minutos	32,1	15,62	2096,4	4,3	13,62	58,58
13	persona N	5 minutos	34,3	15,93	2163,7	4,95	13,69	67,75
14	persona Ñ	5 minutos	29,8	16,12	2156,3	4,75	13,56	64,39
15	persona O	5 minutos	30,3	15,79	2148,8	4,35	13,43	58,42
promedios			31,47	15,77	2101,14	4,396	13,54	59,47

Tabla 1. Datos recolectados durante la prueba.

N° Dato	Tiempo (s)	Tensión generada (V)
1	30	13,489
2	60	13,595
3	90	13,498
4	120	13,479
5	150	13,555
6	180	13,582
7	210	13,617
8	240	13,535
9	270	13,569
10	300	13,436

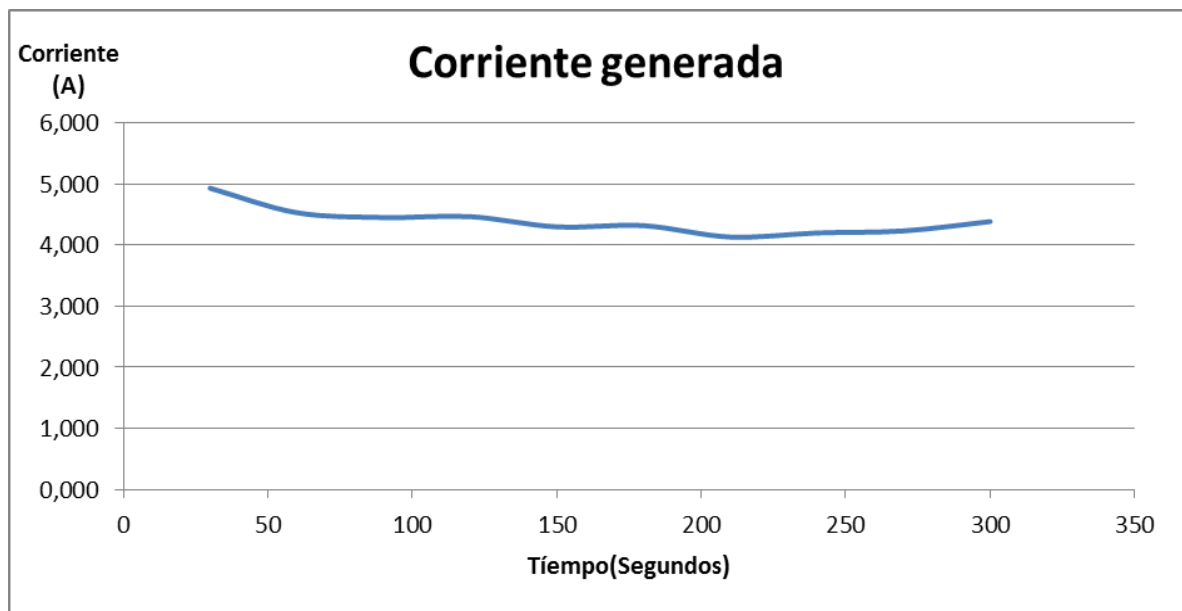
Tabla 2. Valores de tensión recolectados durante 5 minutos.



Grafica 1. Tensión generada al pedalear durante 5 minutos.

Nº Dato	Tiempo (Segundos)	Corriente generada (A)
1	30	4,933
2	60	4,533
3	90	4,453
4	120	4,467
5	150	4,300
6	180	4,320
7	210	4,133
8	240	4,200
9	270	4,233
10	300	4,387

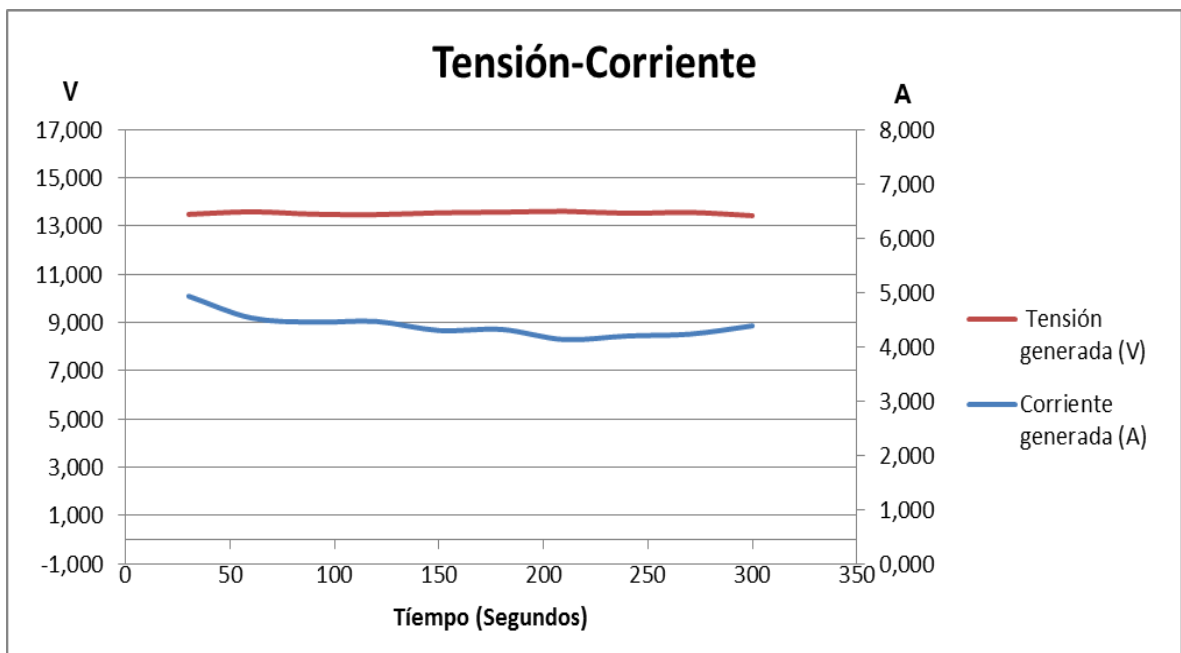
Tabla 3. Valores de corriente recolectados durante 5 minutos.



Grafica 2. Corriente generada al pedalear durante 5 minutos.

N° Dato	Tiempo (s)	Corriente generada (A)	Tensión generada (V)
1	30	4,933	13,489
2	60	4,533	13,595
3	90	4,453	13,498
4	120	4,467	13,479
5	150	4,300	13,555
6	180	4,320	13,582
7	210	4,133	13,617
8	240	4,200	13,535
9	270	4,233	13,569
10	300	4,387	13,436

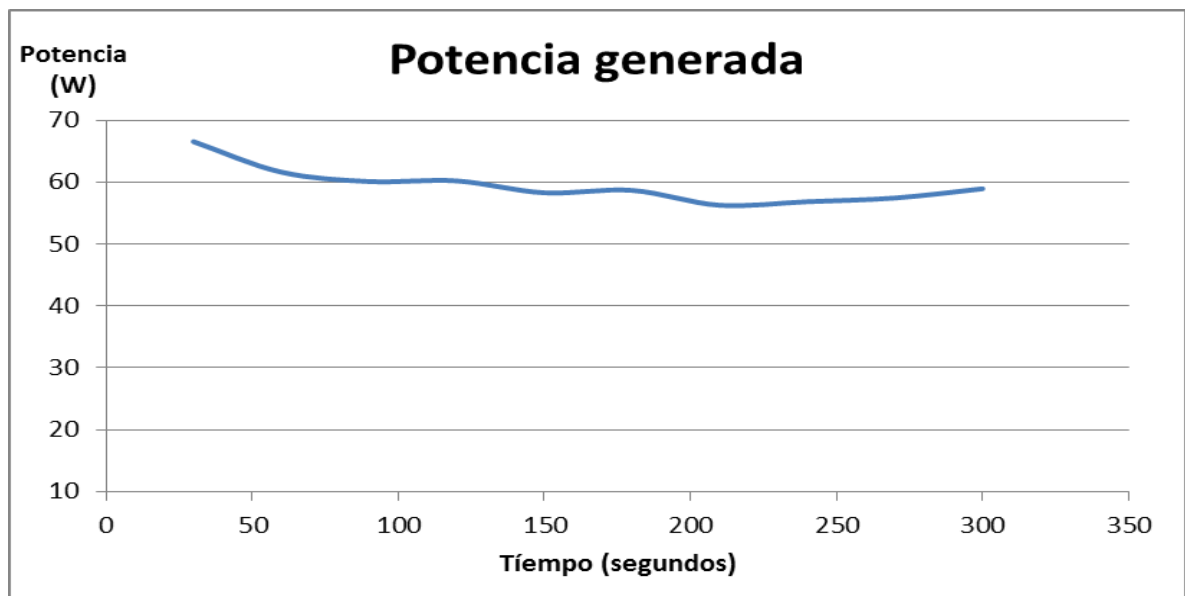
Tabla 4. Valores de corriente y tensión recolectados durante 5 minutos.



Grafica 3. Comportamiento de corriente y tensión generada.

N° Dato	Tiempo (s)	Corriente generada (A)	Tensión generada (V)	Potencia (W)
1	30	4,933	13,489	66,546
2	60	4,533	13,595	61,629
3	90	4,453	13,498	60,110
4	120	4,467	13,479	60,208
5	150	4,300	13,555	58,288
6	180	4,320	13,582	58,674
7	210	4,133	13,617	56,282
8	240	4,200	13,535	56,846
9	270	4,233	13,569	57,444
10	300	4,387	13,436	58,939

Tabla 5. Valores de potencia recolectados al pedalear durante 5 minutos.



Grafica 4. Comportamiento de la potencia generada durante 5 minutos.

4.5.3. Análisis de los datos obtenidos. En el proceso de inspección de los datos se hacen notar las siguientes características encontradas en las gráficas obtenidas:

- La curva característica de tensión generada presente en la gráfica 1 se logra observar que la tensión sufre leves variaciones en el tiempo debido a que la cadencia al pedalear fue constante, también se observa la función realizada por el regulador de tensión manteniendo un valor constante y cercano a 14 V.
- El comportamiento observado en la gráfica 2 muestra valores de corriente comprendidos entre 4 A y 5 A, corriente recomendada de carga ya que para la batería usada la corriente recomendada de carga estará alrededor de 5,5 A.
- Bajo las condiciones que se realizó la prueba la tensión y la corriente presentan comportamientos lineales debido a que en la prueba se estableció una velocidad de pedaleo constante según se observa en la gráfica 3.
- La potencia generada por el tripulante (grafica 4) presenta un valor promedio de 59,470 W durante los 5 minutos que tardo la prueba; la cual requería un esfuerzo físico intermedio sin llegar a la fatiga del tripulante. En la curva se observan pequeñas fluctuaciones debido a que la cadencia de pedaleo del tripulante es variable.

Para la obtención del valor energético es necesario calcular el área bajo la curva. Para ello, se utilizó aproximaciones de áreas trapezoidales punto a punto tal como muestra la figura 19.

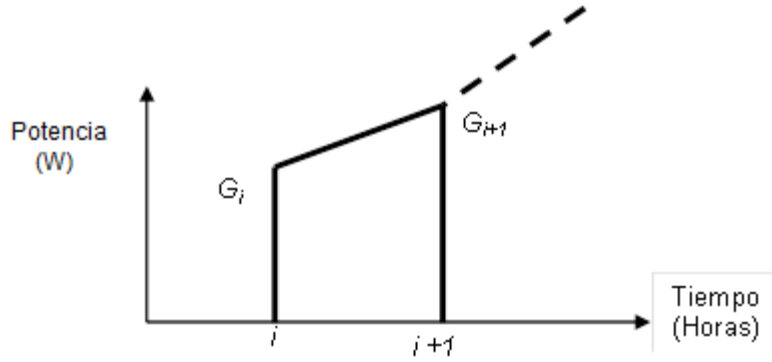


Figura 19. Determinación de la energía generada en Wh.

Para obtener el área bajo la curva y encontrar el valor de la energía suministrada en la prueba se utiliza la siguiente ecuación:

$$H = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{G_i + G_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i) \quad (9)$$

Los datos son registrados (según la frecuencia de muestreo, tabla 5) cada 30 s.

Siendo:

G_i : Dato de potencia en el tiempo i

G_{i+1} : Dato de potencia en el tiempo i + 1

De esta forma se obtiene el valor de la energía suministrada durante 5 minutos; esto es 5 Wh. Ahora, si se toma un valor de 2600 calorías por día entregadas por una persona promedio (no deportista), se puede suponer una generación diaria posible de:

$$Energia = 2600 \text{ cal} \times \frac{4,187 \text{ J}}{1 \text{ cal}} \times \frac{1 \text{ Wh}}{3600 \text{ J}} = 3,024 \text{ Wh}$$

Según los datos registrados durante 5 minutos la persona de prueba entregó 5 Wh, superando los valores promedio que dice la literatura.

También se puede considerar la energía cinética que se almacena en la volante de inercia utilizando la ecuación (1) para determinar el aporte que se realiza a la velocidad promedio medida

Para el cálculo de la frecuencia es necesario realizar la siguiente conversión de unidades ya que las velocidades medidas en la volante se encuentran en rpm.

$$1 \text{ rpm} = \frac{1 \text{ ciclo}}{60 \text{ s}}$$

$$f = 239,014 \text{ rpm} \times \frac{1 \text{ ciclo}}{60 \text{ s}} = 3,98 \frac{\text{ciclos}}{\text{s}}$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 3,98 \frac{\text{ciclos}}{\text{s}} = \frac{25,007 \text{ rad}}{\text{s}}$$

Debido a que la volante gira con respecto al eje z se toma el valor de momento de inercia arrojado por el software de CAD para diseño mecánico Inventor ($I = 0,1695 \text{ kg m}^2$) [11].

$$Ec = \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} \times 0,1695 \text{ kg. m}^2 \times \left(\frac{25,007 \text{ rad}}{\text{s}} \right)^2 = 52,998 \text{ Nm}$$

Esta energía se convierte en un aporte adicional aprovechable de la volante, esto es:

$$E_{Volante} = 53 \text{ Nm} \times \frac{1 \text{ Wh}}{3600 \text{ J}} = 0,0147 \text{ Wh}$$

Esto comprueba que el aporte de la volante a esa velocidad es despreciable con respecto al aporte entregado por una persona.

- El sistema presenta una eficiencia global de:

$$\eta = \frac{\dot{W}_E}{\dot{W}_M} = \frac{59,47 \text{ W}}{314,344 \text{ W}} 100 \approx 19\%$$

Lo que representa las pérdidas debido a la fricción y los diferentes factores eléctricos que intervienen en la generación de electricidad por medio del alternador.

5. CONSIDERACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN EN EL GIMNASIO UTP

Una de las aplicaciones que generaría un impacto económico y ecológico en el campus de la Universidad Tecnológica de Pereira será el montaje de un sistema capaz de proporcionar la energía eléctrica necesaria para mantener encendidos los equipos de consumo eléctrico en el gimnasio UTP.

Para cuantificar la demanda que se debe satisfacer, es necesario realizar las respectivas mediciones de las corrientes de consumo presente en los diferentes elementos que demandan energía eléctrica. Para hacerlo de una manera práctica esta medida se puede realizar mediante el uso de un cable conectado en paralelo que permita la medición de corriente mediante una pinza amperimétrica en una de las líneas del circuito.

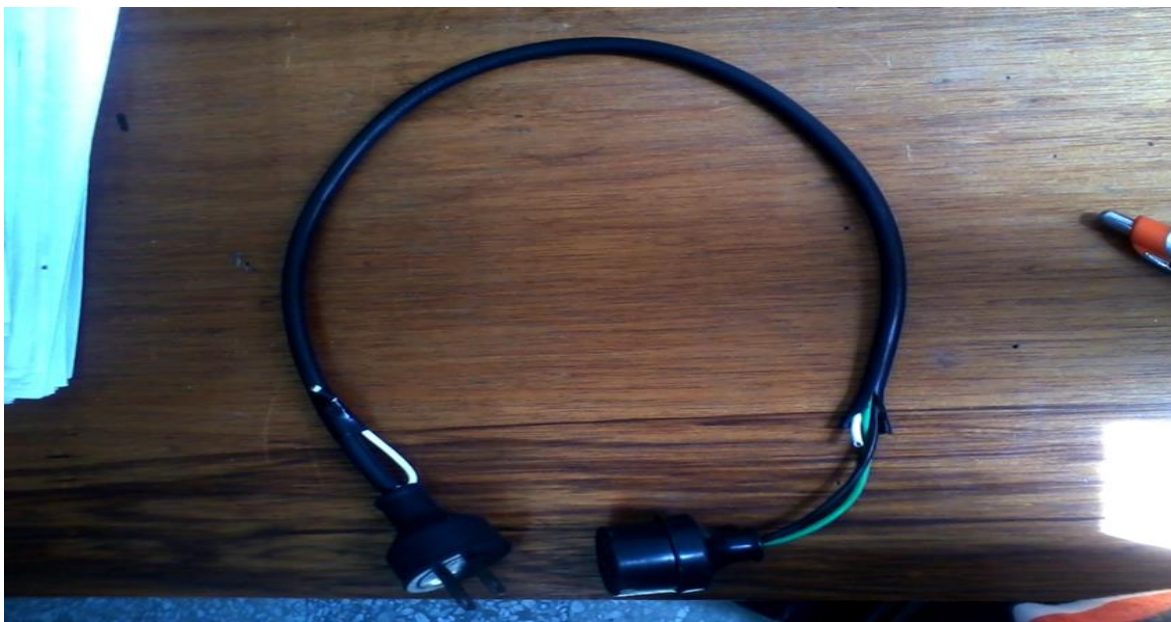


Figura 20. Cable adaptador.

De esta manera se midieron los consumos de todos los equipos del gimnasio UTP, registrados en la tabla 6.



Figura 21. Medición de la corriente de consumo.

Con las corrientes de consumo cuantificadas se procede a estimar la potencia que se está consumiendo por dichos elementos utilizando la ecuación (3) que relaciona tensión con corriente:

Por ejemplo, la potencia consumida por el Computador de mesa (tabla 6) se determina:

$$\dot{W}_E = 0,435 \text{ A} \times 120 \text{ V} = 52,20 \text{ W}$$

El valor de tensión se asume que es 120 V porque en Colombia esta es la tensión utilizada en las redes domésticas [12].

Se obtuvieron así las potencias de todos los componentes y se estima el tiempo que se encuentra en uso cada uno de ellos y así calcular la energía total consumida.

Cantidad	Elemento consumidor	Corriente de consumo (A)	Potencia (W)	Tiempo (h)	Energía (Wh)
1	Computador de mesa	0,435	52,2	12	626,4
1	Modem	0,072	8,64	12	103,68
1	Equipo de sonido	0,606	72,72	10	727,2
24	Lamparas (32 W)	6,948	833,76	6	5002,56
1	Televisor plasma	0,777	93,24	5	466,2
Consumo total de energía					6926,04

Tabla 6. Valores obtenidos en el proceso de medición.

Ahora se calcula el consumo en un mes de funcionamiento del gimnasio UTP:

$$\begin{aligned} \text{Energía demandada por mes en el gimnasio} &= 6926,04 \text{ Wh} \times 30 \text{ días} \\ &= 207,781 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Si se toma el precio del kWh en el año 2015 mes de febrero en Colombia se encuentra que 1 kWh cuesta COP\$ 368,73. El consumo eléctrico tiene como unidad de medida el kWh (kilovatio hora) [13].

$$\text{Consumo de electricidad en pesos} = 207,781 \text{ kWh} \times 368,7340 = \text{COP\$}76.615,91$$

Para la implementación de la bicicleta generadora de electricidad es necesario estimar cual será la energía generada en determinados periodos de tiempo, conociendo que en 5 minutos se puede generar 5 Wh, por consiguiente la energía eléctrica suministrada en 1 hora será:

$$\text{Energía generada en 1 h} = \frac{5 \text{ Wh} \times 60 \text{ minutos}}{5 \text{ minutos}} = 60 \text{ Wh}$$

En un día se usa la bicicleta estática un promedio de 6 horas en el gimnasio por lo cual se procede a calcular la energía eléctrica generada en un día y en un mes:

$$\text{Energía generada en 1 día} = \frac{60 \text{ Wh} \times 6 \text{ h}}{1 \text{ h}} = 360 \text{ Wh}$$

$$\text{Energía generada en 1 mes} = \frac{360 \text{ Wh} \times 30 \text{ día}}{1 \text{ día}} = 10800 \text{ Wh}$$

En el gimnasio UTP se encuentran disponibles 16 bicicletas estáticas que pueden suministrar una energía eléctrica igual a:

$$\text{Energía suministrada} = 16 \times 10800 \text{ Wh} = 172,800 \text{ kWh}$$

Cálculo impacto económico:

El funcionamiento de una bicicleta estática generadora durante 1 hora tendrá un Impacto económico de:

$$0,06 \text{ kWh} \times 368,7340 = \text{COP\$ } 22,12$$

La bicicleta estática generadora permitiría ahorrar COP\$ 22,12 por hora.

Suponiendo que se use la bicicleta estática generadora un promedio de 6 horas durante 1 mes se obtendrá el siguiente impacto económico.

$$10,800 \text{ kWh} \times 368,7340 = \text{COP\$ } 3.982,32$$

El gimnasio obtendría un ahorro económico de COP\$ 3.982,32 en el mes por cada bicicleta estática generadora implementada y utilizando el conjunto de las 16 bicicletas estáticas generadoras obtendría un beneficio económico de:

$$3.982,32 \times 16 = \text{COP\$ } 63.717,23$$

Lo cual representa alrededor de un 81% de la energía y el valor demandado por el gimnasio UTP. Entonces para suplir el 100% de la energía demandada mediante el uso de la bicicleta generadora restaría aumentar el tiempo de uso o aumentar el número de bicicletas en el gimnasio.

CONCLUSIONES

- Se realizó revisión del estado del arte sobre el aprovechamiento de la propulsión humana mediante bicicletas, encontrando que ya en muchos lugares de nuestro país y el mundo se ha venido implementando el uso individual y colectivo de este sistema de aprovechamiento de energía renovable.
- En el sistema de generación siempre debe de estar presente una batería o algún elemento que proporcione una corriente de excitación ya que el alternador requiere de una corriente de inducción.
- Es necesario disminuir la corriente de excitación presente en la bobina del alternador para que el tripulante pueda lograr un tiempo y revoluciones mayores con menor esfuerzo.
- Se observó que la batería presenta problemas de almacenamiento y mayor esfuerzo en el pedaleo si su capacidad es mayor a 55 Ah ya que la corriente generada por una persona promedio en el sistema de generación se encuentra entre 4 A y 5 A.
- La potencia generada por un tripulante promedio en condiciones físicas normales se encuentra alrededor de 60 W aunque la energía producida depende del nivel de esfuerzo del tripulante según los datos registrados en la gráfica de potencia una persona promedio entregara 4,9 Wh, superando los valores promedio que dice la literatura.
- La intensidad de corriente que puede proporcionar un alternador está estrictamente relacionada con las distintas revoluciones a que es sometido por el tripulante al pedalear siendo necesario superar la barrera de las 700 RPM para generar una corriente aprovechable.
- La implementación del sistema de aprovechamiento de la propulsión humana mediante el uso de una bicicleta estática y un alternador es una forma viable para autoabastecer el gimnasio UTP ya que la generación de las 16 bicicletas representa alrededor de un 81% del valor de la energía demandada por el gimnasio UTP. Entonces para suplir el 100% de la energía demandada mediante el uso de la bicicleta generadora restaría aumentar el tiempo de uso o aumentar el número de bicicletas en el gimnasio.

BIBLIOGRAFÍA

1. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World Energy [En línea].
<<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Spanish.pdf>> [Citado el 16 de noviembre de 2014.]
2. SOLUCIONES DE INGENIERÍA SOLVENTA, S. L. Energías renovables [en línea]. <http://www.webs.ulpgc.es/agora/ficheros/INTRODUCCION_RENOVABLES.pdf> [Citado el 16 de noviembre de 2014]
3. DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA, PLAZA ERCILLA. Centro de excelencia en geotermia de los Andes. [En línea].
<<http://www.cega.ing.uchile.cl/cega/index.php/es/informacion-de-interes-/ique-es-la-energia-geotermica>> [Citado el: 20 de enero de 2015]
4. EDUAMBIENTAL, COMUNIDAD. Energía de las mareas. [En línea].
<<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo23.pdf>> [Citado el 20 de Enero de 2015]
5. ALLEN, HUNTER, CHEUNG, STEPHEN S. *Ciclismo Entrenamiento avanzado*. España, Ediciones Tutor S.A, 2013.
6. TECHNOGYM. TechnoGym. [En línea].
<<http://www.technogym.com/o/wellness/entrenamiento/c%C3%B3mo-entrenarse-con-una-bici/13255>> [Citado el 27 de Enero de 2015]
7. ROSSI, SILVANO, Pampa Solar: un proyecto multidisciplinario para la construcción de un vehículo solar. [En línea]
<http://www.revistacdyt.uner.edu.ar/spanish/cdt_48/documentos/009cdt_48.pdf> [Citado el 12 de Febrero de 2015]
8. SKF, FAG, INA, SNR. Rodamientos. [En línea].
<http://www.vc.ehu.es/Dtecnico/tema17_01.htm> [Citado el 23 de Enero de 2015.]
9. VALDOVINOS FREDY, OTÁROLA ROBERTO. Almacenamiento de Energía: Desarrollos Tecnológicos y Costos. [En línea].
<http://web.ing.puc.cl/~power/mercados/almacena/Almacenamiento_Energia_archivos/Almacenamiento_Energia.pdf> [Citado el 25 de Enero de 2015.]
10. BOSCH. Alternadores, marchas y componentes. [En línea].
<<http://www.boschautopartes.mx/Cat%C3%A1logos/Documents/Catalogo%20RM%202015.pdf>> [Citado el 23 de Febrero de 2015.]

11. ALZATE ÁLEX Fernando, HERNÁNDEZ Alison, GAHYDA Lina Maria. *Montaje de un sistema de generación eléctrico por propulsion humana*. Pereira.Trabajo de grado (Tecnólogo Mecánico). Universidad Tecnologica de Pereira.Facultad de tecnologías.

12. ENERGÉTICA, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO. Alumbrado interior de edificaciones residenciales. [En línea].
<http://www.upme.gov.co/Docs/Alumbrado_Residencial.pdf.>[Citado el 27 de febrero de 2015.]

13. E.S.P., EMPRESA DE ENERGÍA DE PEREIRA S.A. Tarifas energías residenciales.[En línea].
<http://www.eep.com.co/images/stories/tarifas/2015/Tarifas_Reguladas_EEP_Febrero_2015.pdf.>[Citado el 23 de febrero de 2015.]

ANEXO A



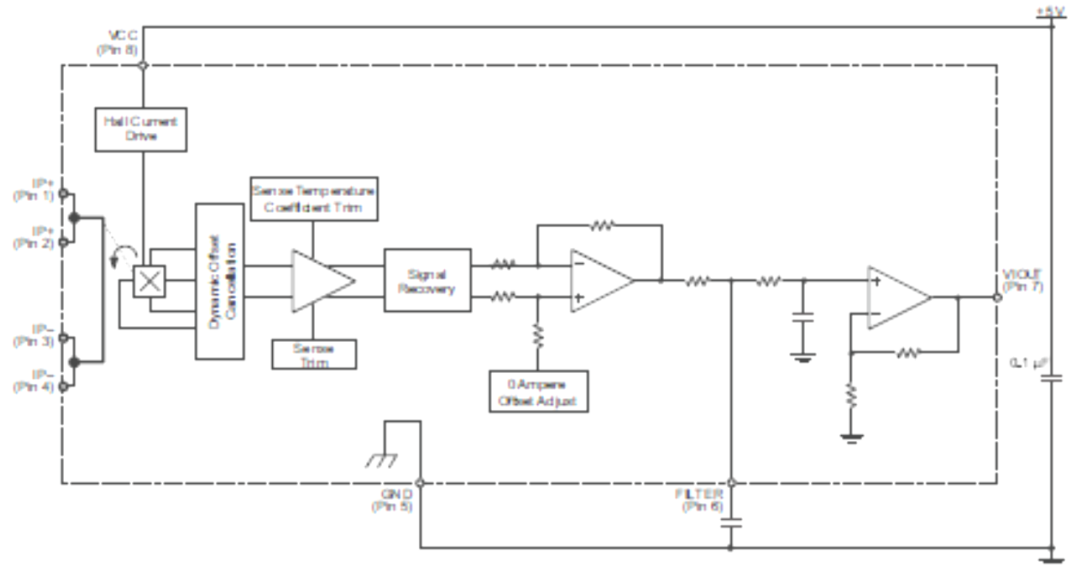
Determinación de la fuerza ejercida en los pedales.

Con el uso de una báscula convencional y soportes para alcanzar la altura a la que se encuentran los pedales cuando están predispuestos horizontalmente, con el fin de ejercer la fuerza generada por los músculos de las piernas perpendicularmente en la superficie de la báscula y así obtener la fuerza promedio ejercida por un tripulante.

ANEXO B

Data sheet correspondiente al sensor de corriente ACS715

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Input terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP-	Output terminals for current being sampled; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal